

モアレトポグラフィーによる前胸壁の計測に関する研究

—漏斗胸について—

竹 田 晴 男

札幌医科大学外科学第2講座 (主任 小松作蔵 教授)

Application of Moiré Topography for Morphological Analysis of Anterior Chest Deformities

— in Funnel Chest —

Haruo TAKEDA

Department of Surgery (Section 2), Sapporo Medical College
(Chief : Prof. S. Komatsu)

ABSTRACT Moiré topography is a simple non-invasive method for objectively depicting the surface contour of the body. This technique was used in an attempt to accurately and objectively measure and record the degree of deformity for various anterior chest deformities, especially funnel chest, as this remains a problem in its treatment.

A new classification of three types of transverse section, determined by symmetry, and three types of longitudinal section, determined by degree of depression, as well as a new index, the ratio of the thickness of the chest wall to its width, called the Moiré Index, is proposed in order to evaluate the operative results. This was applied in 30 funnel chest cases and the following conclusions were obtained;

1) The new apparatus used for Moiré topography in the supine position for the measurement of chest deformities was clinically very accurate and useful.

2) The results of the classification consisted of 14 symmetric (I) type and 16 asymmetric (II, III) type in the transverse section and 3 nondepressive (A) type and 27 depressive (B, C) type in the longitudinal section.

3) According to evaluation by the Moiré Index, funnel chest is a complicated deformity with depression of the sternum and costal cartilages, an asymmetrical thoracic cage, and a flat chest.

4) The sternal turnover method, developed by our department, is useful for the correction of deformity of the lower and middle part of the chest wall. However, it is less effective for correction of the upper part of the chest wall. There are many unresolved problems in the surgical procedure for the complete correction of this deformity.

(Received July 6, 1988 and accepted July 25, 1988)

Key words: Funnel chest, Chest deformity, Moiré topography, Sternal turnover method

1 結 言

前胸壁変形のなかでも凹変形を呈する漏斗胸は、形態学上好ましからざる状態であるばかりでなく、胸腔内の主要臓器を圧迫するところから、正しく治療する必要がある。

漏斗胸に対する術前、術後の評価判定法は、主とし

て肉眼的観察、胸部X線像および心電図所見などによって行われてきた¹⁻⁴⁾が、著者は、立体的かつ定量的に評価判定することの必要性を重んじ、1970年、高崎⁵⁾により開発された moiré topography (以下モアレと略す)による立体計測法に着目した。このモアレにより、前胸壁変形のうち今回は漏斗胸に対し綿密な計測を行い、術前後の評価判定を試みた。

従来、漏斗胸の術前、術後評価法としての病型分類は、主に横断面^{6,7)}についてのみなされてきたが、著者はモアレを用いて縦断面についても検討を加え、形態学的に分類し、さらに、術前後の客観的評価判定のため、あらたに moiré index なる指標を考案して比較検討し、漏斗胸の病型、外科治療の適応および成績について検討し、ここに報告する。

2 対 象

正常群として、前胸壁に異常のない、年齢2歳から10歳まで、平均6.2歳の男児12例、女児6例の計18例を選んだ。漏斗胸群は、外来にて漏斗胸と診断され入院した、年齢2歳から10歳まで平均5.1歳の男児24例、女児6例の計30例である。術後群は、胸骨翻転術が行なわれ術前および術後1ヵ月前後にモアレ像による計測を行いえた、年齢2歳から10歳まで、平均5.3歳の男児13例、女児5例の計18症例とした。

3 方 法

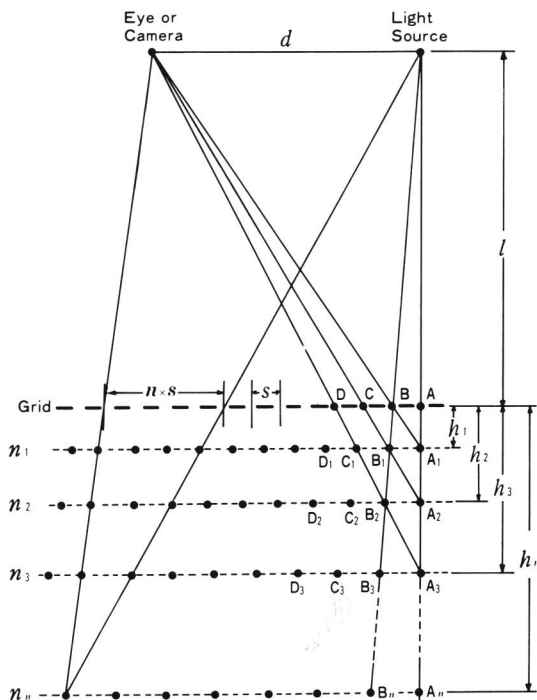
3.1 モアレトポグラフィー装置および撮影方法

3.1.1 格子照射法の原理

本研究にはモアレ縞の発生に格子照射法⁸⁻¹¹⁾を用いた。この原理は、被写体の直前にピッチ s の平行直線格子を置き、この格子から距離 l にある点光源より格子を通して被写体を照射し、一方、同じく格子から l 、点光源から d の距離にある位置より被写体を観察することにより、被写体上にみられる明暗の縞、すなわちモアレ縞等高線を描出させる。モアレ縞次数を n とし、基準格子から n 次の等高線のモアレ縞が形成される位置までの距離を h_n とすると、 h_n は幾何学的関係 $d : ns = (h_n + l) : h_n$ より $h_n = lns / (d - ns)$ で示される。すなわち、 n 番目の縞と $n+1$ 番目の縞の間の距離 Δh_n は $\Delta h_n = h_{n+1} - h_n = dsl / (d - ns)[d - (n+1)s]$ で示され、さらに d および l に対して s が十分小さければ $\Delta h_n = sl/d$ となる。このようにして正確なモアレ縞の深さおよびモアレ縞の距離の計測が可能となる (Fig. 1)。

3.1.2 モアレトポグラフィー装置の作製

格子照射法の原理に従い、モアレ装置を作製¹²⁾した。屋間医科器械に試作依頼したもので、格子と格子振動装置、ならびにこれらを平行に保持する台より構成される。黒塗糸を用い、縦方向に1mmの等間隔で張り、有効面積 60×60 cm の格子を作製した。格子振動装置は手動式で、格子をレール上に乗せ振幅約10cmで左右に水平移動できるようにした。格子保持台は、この振動装置および格子を水平に保持し、患者の胸部の厚



$$d : ns = h_n + l : h_n$$

$$h_n = \frac{lns}{d - ns}$$

Fig. 1 Schematic representation of moiré topography.

さにあわせて格子を上下に移動できるように作製した。被験者を仰臥位とするため、平面鏡を用い、カメラを平行にして、撮影できるようにした。点光源には、キセノンランプを用いた (Fig. 2)。

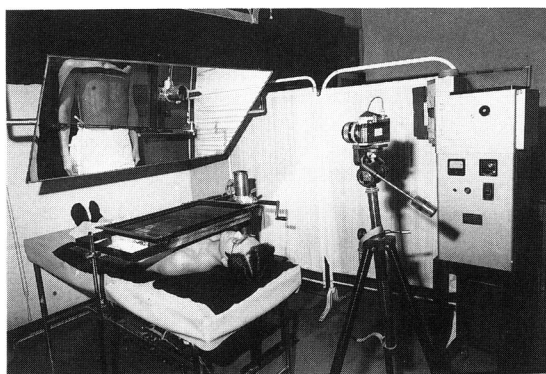


Fig. 2 Clinical setup to generate the moiré contour photographs.

3・1・3 撮影方法

被写体である前胸壁に、白いドーランを塗布することにより、明確なモアレ縞を得るようにし、ついで患者を仰臥位とし、前胸壁直上に格子が接近するよう格子台を水平に固定する。さらに、カメラと格子間距離を150 cm、光源とカメラ間距離を100 cmとし、被験者の呼吸を静止させ、格子を振動させながら、暗室下にて撮影を行った。

撮影条件はレンズ135 mm (f2.8)、シャッタースピード1/4秒、絞り11、フィルムはASA 400を使用し、さらにこれを増感処理して実質ASA 1600のプリントを得た。

3・2 前胸壁上における計測線の設定

モアレによる前胸壁の客観的評価のために、前胸壁上に6本の計測線を設定した。変形があっても影響を受けない胸骨上窩を基準点とし、横断線としてU (upper), N (nipple), L (lower) の3本を、縦断線としてS (sinistra), M (middle), D (dextra) の3本を設けた。N線は左右乳頭を通る線であり、U線は基準点とN線との中点を通るN線に平行な線、L線はN線の下方でU-N間との同距離の平行な線とした。M線は基準点を通るN線の垂線であり、右乳頭とM線の間中線をD線、左乳頭とM線の間中線をS線とした (Fig. 3)。

3・3 漏斗胸の病型分類法と陥凹状態記録方法

病型分類は、従来行われてきた横断面のみならず縦断面からも行った。横断面では、臨床経験から対称性が問題となるため、これを考慮して3型に分類した。すなわち、左右対称型のI型、非対称型であり最陥凹点が右側にあり左側胸郭が高いII型、および最陥凹点が

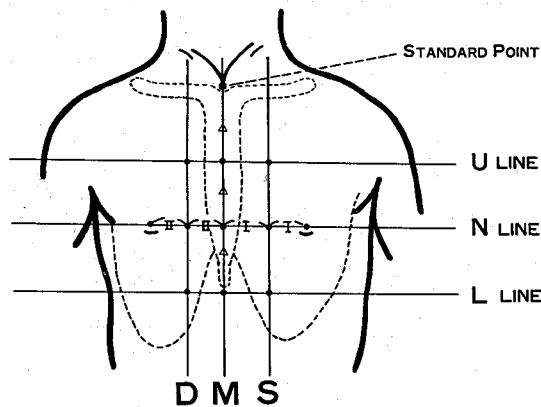


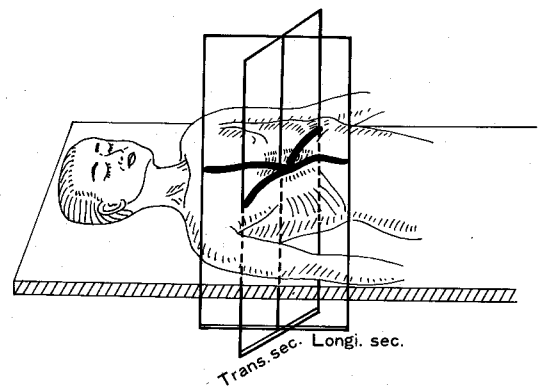
Fig. 3 The establishment of standard point and lines in study of anterior chest wall deformities by a moiré topography.

左側にあり右側胸郭が高いIII型とした。

縦断面では陥凹の程度により3型に分類した。すなわち、横断面からみると陥凹を認め臨床的に漏斗胸と診断されたにもかかわらず、縦断面では陥凹のみられないA型、陥凹の軽度なB型、陥凹の強度なC型である (Fig. 4)。

陥凹状態の記録法は、最陥凹点の前胸壁における位置を座標軸の点としてとらえ、陥凹の程度を角度によって表現することにより、漏斗状態を客観的に数値化して記録できると考えた。すなわち、最陥凹点はモアレ縞により容易に決定できるが、その位置を次のように表現した。N線、M線を二次座標の座標軸とみなし、N線についてU線までの距離を1とし正の符号をつけ、同様にM線についてS線までの距離を1として正の符号をつけ、最陥凹点を(N, M)座標で表現した。

陥凹度については、最陥凹点の位置に注目し、横断



Type	Transverse section	Type	Longitudinal section
I		A	
II		B	
III		C	
	D M S line		U N L line

Fig. 4 The morphological classification of funnel chest deformity.

Three types (I, II, III) in transverse section (left).

Three types (A, B, C) in longitudinal section (right).

面についてその点からD線、S線への仰角をもって表現した (Fig. 5).

3・4 Moiré index による漏斗胸手術前後の比較検討

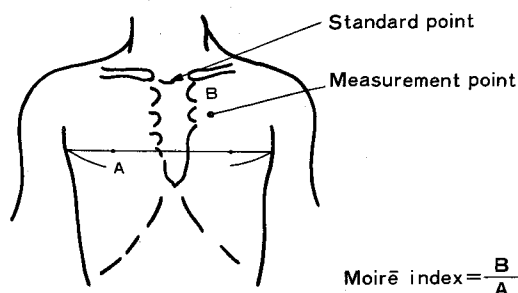
3・4・1 Moiré index の設定

モアレを利用し前胸壁上の任意の点について胸壁の厚みを数値化することにより、外科治療効果の判定を容易に行い得ると考え、moiré index なる指標を設定した。

この指標は、左右乳頭を通る、すなわちN線における胸壁の幅をA cmと、cmを単位として計測した。ついで胸骨上窩を基準点とし、基準点から計測点Bまでのモアレ縞数をB本と、本を単位として計測し、これらの比B/Aをmoiré indexと設定した (Fig. 6)。

3・4・2 Moiré index による漏斗胸手術前後の評価法

Moiré indexを、前述した6本の基準線の交点9カ所について計測し、正常群、漏斗胸群、術後群についてそれぞれ計測し矯正効果を判定した。



A : Width of the chest wall in N line (cm)

B : Number of moiré line between standard and measurement point

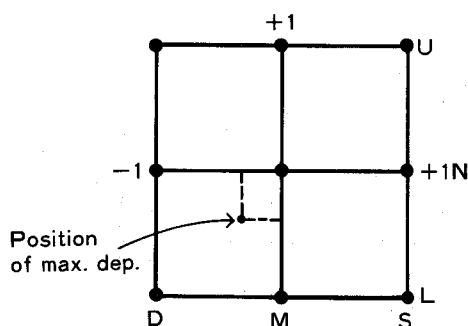
Fig. 6 The definition of moiré index.

4 結 果

4・1 モアレ装置の精度

用いた撮影条件でのモアレ縞の各縞間の距離 Δh_n は、Table 1のごとくであり、実際に計測される有効縞次数内の、たとえば $n=20$ では誤差は0.06 mm以内 (3%以内) であり、計測上問題とならず、実用上各モアレ縞は等高線と考えられた。以上の理論により作製された装置の実際上の精密度を検討すべく、漏斗胸症例を対象として、コンピュータ断層装置 (CT スキャン) による計測法と比較した (Fig. 7)。Fig. 7の左上段が被検者の頭部を下にしたモアレ像であり、下段が最陥凹部のモアレからの断面図であり、右上段が同一症例のCTスキャンによる同部位での断面像、下段がその拡大像である。CTスキャン像にみる十字マーク間の距離、すなわち左右胸壁の最突出点間の距離は105 mmであり、一方、モアレによる同様の計測では107.5 mmとなり、

I . Location of maximum depression



II . Degree of depression

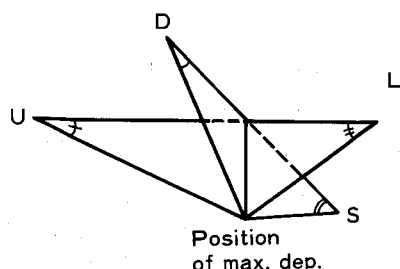


Fig. 5 Descriptive methods of the location and the degree of a maximum depressed point in funnel chest deformity.

Table 1 Theoretical values of the difference in height Δh_n .

$$h_n = \frac{l \cdot n \cdot s}{d - n \cdot s} \quad \Delta h_n = h_{n+1} - h_n$$

$$l = 150 \text{ cm} \quad d = 100 \text{ cm} \quad s = 0.1 \text{ cm}$$

n	$\Delta h_n = h_{n+1} - h_n$
1	0.1505 cm
2	0.1508
3	0.1511
4	0.1514
5	0.1517
10	0.1532
20	0.1563
50	0.1664

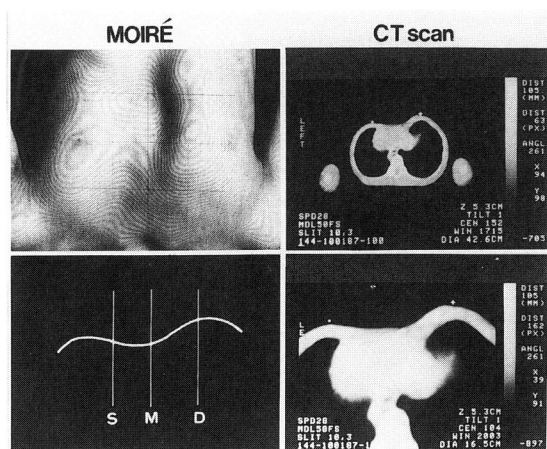


Fig. 7 Comparison of a accuracy between moiré topography and CT scan in a same funnel chest case.

その誤差は2.4%とほぼ近似の値となった。このことから、著者の開発したモアレ装置は、前胸壁変形の測定に使用しうる精度を有するものと判断された。

Table 2 The result of morphological classification in 30 cases in funnel chest deformity.

Long. sec.	Transverse sec.	Type			Total
		I	II	III	
	A type	2	0	1	3
	B type	5	3	4	12
	C type	7	6	2	15
	Total	14	9	7	30

Table 3 The results of the location and the degree of a maximum depressed point in funnel chest deformity.

I. Location of maximum depression

Type	N	Type	M
I	-0.05 ± 0.03	A	—
II	-0.15 ± 0.06	B	-0.43 ± 0.09
III	0.01 ± 0.01	C	-0.25 ± 0.08

II. Degree of depression

Type	D	S	Type	U	L
I	$27.2^\circ \pm 2.9^\circ$	$23.0^\circ \pm 1.8^\circ$	A	-11.0°	8.3°
II	$23.5^\circ \pm 3.5^\circ$	$26.2^\circ \pm 2.2^\circ$	B	$10.1^\circ \pm 1.8^\circ$	$18.8^\circ \pm 2.3^\circ$
III	$27.3^\circ \pm 2.6^\circ$	$15.2^\circ \pm 2.2^\circ$	C	$15.3^\circ \pm 1.9^\circ$	$29.1^\circ \pm 1.8^\circ$

4・2 漏斗胸の病型分類

対象とした漏斗胸群 30 症例における病型分類結果を Table 2 に示した。横断面からの分類結果では、対称性の I 型が 14 症例、非対称性のうち最陥凹点が右側にある II 型が 9 例、最陥凹点が左側にある III 型が 7 例であった。すなわち、対称型と非対称型との比率は 14 : 16 となりほぼ同数の比率である。縦断面からの分類では陥凹の認められなかった A 型が 3 例、陥凹の軽度な B 型が 12 例、強度の陥凹がみられた C 型が 15 例となり、縦断面からの陥凹の有無からその比率をみると、3 : 17 と陥凹のない症例は少なかった。

最陥凹点の位置および陥凹度を病型別にみた結果を Table 3 に示した。横断面からの分類についてみると、最陥凹点の位置を示す N 座標では、I 型ではわずかに右側に位置し、II 型では -0.15 と右側に、III 型ではわずかに左側に位置していた。最陥凹点から D 線、S 線への仰角は I 型は右側、II 型は左側への仰角が大きい傾向を示し、III 型は統計学的有意の差をもって右側の仰角が大きかった。

同様に縦断面からの分類では、B 型、C 型とも最陥凹点は M 座標の負を示しており、陥凹の軽度な B 型では、陥凹の強度な C 型に比べて最陥凹点が負、すなわち下部胸壁にあった。仰角は B 型、C 型ともに U 線への仰角が L 線より小さく、下部胸壁に向かって強く陥凹していた。また C 型は B 型に比し U 線、L 線への仰角が大きく、陥凹の強度なことが示された。

4・3 Moiré index による漏斗胸手術前後の比較検討

漏斗胸 30 症例中、病型分類にて A 型とされた 3 症例は手術適応がないため除外し、術前群 27 症例と、正常群 18 症例とを比較検討した。

正常群では、U 線上の各点、すなわち上部前胸壁の moiré index は 0.50~0.60 の間であり、N 線、L 線上の各点、すなわち中部、下部前胸壁では 0.80~0.90 であった。術前群はすべての計測点で、index は正常児に比して低値であり、漏斗胸症例では胸壁全体が扁平であることを示した。最も低値をとったのは(N, M)点の-0.08であり、これは最陥凹点の位置が(N, M)付近で、その程度が基準点である胸骨上窩よりも低いことを示している (Table 4)。

漏斗胸術後群 18 症例と正常群 18 症例について比較すると、U 線、N 線で両群間に有意差を認め、L 線では有意差を認めなかった。このことは手術による矯正効果が下部胸壁に局限していることを示している (Table 5)。

ついで、漏斗胸術前群と術後群とを比較すると、U 線

Table 4 Comparisons between control and pre-operative groups in measurement points by moiré index.

Measurement point	Control (n=18)	Pre Op. (n=27)	p-value
U D	0.50±0.03	0.22±0.04	p<0.01
M	0.54±0.03	0.16±0.04	p<0.01
S	0.55±0.03	0.25±0.04	p<0.01
N D	0.83±0.04	0.26±0.08	p<0.01
M	0.81±0.04	-0.08±0.10	p<0.01
S	0.85±0.04	0.26±0.04	p<0.01
L D	0.84±0.05	0.31±0.08	p<0.01
M	0.86±0.05	0.21±0.08	p<0.01
S	0.87±0.05	0.31±0.08	p<0.01

(mean±S. E.)

Table 5 Comparisons between control and post-operative groups in measurement points by moiré index.

Measurement point	Control (n=18)	Post Op. (n=18)	p-value
U D	0.50±0.03	0.27±0.06	p<0.01
M	0.54±0.03	0.22±0.04	p<0.01
S	0.55±0.03	0.31±0.05	p<0.01
N D	0.83±0.04	0.49±0.09	p<0.01
M	0.81±0.04	0.50±0.08	p<0.01
S	0.85±0.04	0.48±0.08	p<0.01
L D	0.84±0.05	0.64±0.11	N. S.
M	0.86±0.05	0.71±0.09	N. S.
S	0.87±0.05	0.63±0.09	p<0.01

(mean±S. E.)

Table 6 Comparisons between pre-and post-operative groups in measurement points by moiré index.

Measurement point	Pre Op. (n=27)	Post Op. (n=18)	p-value
U D	0.22±0.04	0.27±0.06	N. S.
M	0.16±0.04	0.22±0.04	N. S.
S	0.25±0.04	0.31±0.05	N. S.
N D	0.26±0.08	0.49±0.09	p<0.05
M	-0.08±0.10	0.50±0.08	p<0.01
S	0.26±0.04	0.48±0.08	p<0.05
L D	0.31±0.08	0.64±0.11	p<0.01
M	0.21±0.08	0.71±0.09	p<0.01
S	0.31±0.08	0.63±0.09	p<0.01

(mean±S. E.)

では3点ともに差がなく、N 線では正中部 (N, M) で差があり、左右の両点 (N, D), (N, S) ではわずかに差を認め、L 線では3点ともに差がみられた。このことから、手術矯正効果はL 線すなわち下部胸壁を底辺とし、胸骨正中部を頂点とした範囲に局限していることが判明した (Table 6)。

5 考 察

前胸壁に凹型変形を呈する漏斗胸は、胸部主要臓器である心肺を圧迫するのみならず、内向的性格を主とする種々の精神的障害を呈することで知られている。この漏斗胸に対して1957年、本邦初の外科治療が行われて以来¹³⁾、当教室で、現在まで532例に対し外科治療が行われた。手術術式は約80%に胸骨翻転術が施行され、手術方法、遠隔成績などが報告^{1,14,15)}されている。

外科治療を考慮する場合、心肺に対する圧迫症状を有する症例は絶対的適応となるが、心疾患を合併している症例などでは、術後管理の面から、積極的な一期的手術も考慮¹⁶⁾されている。このような症例のほか、年長者によく認められるところの、陥凹が軽度であっても変形について悩み、精神的障害が強いために、手術を施行しなければならない、いわゆる社会的適応となる症例も少なくない。このため前胸壁の形態を立体的、客観的に評価し、手術適応を判定し、術後の評価をも行い得る計測方法が必要となる。

このような観点にたち、今日まで諸家により種々の方法が試みられてきたが、必ずしも満足すべきものではなかった。松藤¹⁷⁾は漏斗胸係数 (Funnel index) を考察した。これはFI₂に代表されるが、漏斗状に陥凹する部の体積がX 線上算出される胸部の体積に対する比

で示され、正常者では陥凹のないことでOであり、数値が大なるほど漏斗状変形が高度となる。渡辺ら¹⁸⁾は陥凹部の容積、深さ、広さの3つの面から評価した。Backer *et al.*¹⁹⁾はvertebral indexやSagitto-frontal indexを考案した。すなわちvertebral indexは、胸部X線像で胸骨陥凹部より胸椎後面の最短距離と、胸椎体前後径の比の百分率であり、Sagitto-frontal indexは、胸部X線像で正面像での胸郭の横径と側面像での胸骨陥凹底部から胸椎前面までの最短距離の百分率である。これらのindexは術前の重症度判定のために考案されたものであり、vertebral indexやSagitto-frontal indexは術後判定にも利用している報告²⁰⁾はあるが、陥凹状態が術後は矯正されるため、無理な術後判定法と思われる。この方法の判定では、Borgeskov and Raahaveの報告²¹⁾にもみるごとく、臨床的に不満足でもX線学的には改善と判定されることもおこりうる。すなわち、術前後ともに統一された客観的矯正効果の判定法であるとはいえない。唯一、門田ら²²⁾はCTスキャン像により術前後の評価を行なっている。著者は、これらの評価方法に満足せず、術前のみならず術後も同様の方法で形態学的評価を行なうことを目的として、安価で再現性に富み、立体的形状を極めて容易に平面として表現できるモアレの臨床応用を考えた。

モアレは1970年、高崎により開発された立体計測法であるが、当初は主に工学分野に应用されていた。モアレ縞を発生させるためには、大別して格子照射法と格子投影法の2つがある。照射法は、被写体の大きさにより規定されること、被写体に近接する格子により被写体の自由な動きを妨げること、また装置がやや大型になるという欠点を有している。この欠点を補うために投影法が用いられるが、投影法では、二つの格子が光学的に同等であることが要求され、格子の方位、寸法、投影用と結像用レンズの焦点距離と歪み特性の釣合など、装置の精密度が特に要求される。本研究の対象となった漏斗胸病変は前胸壁の疾患であり、対象の年齢も10歳以下の年少者に多く、このため像の再現性の確立のため、仰臥位でモアレ像を得ることとした。このため、照射法が本研究には適当であると考え、この方法を選択した。

開発した装置の精度より、十分臨床使用できることが判明し、これを用い漏斗胸陥凹状態の新しい記録法と病型分類法を考察した。著者の方法は、モアレ像から極めて容易にえられる最陥凹点の位置に注目し、この位置を前胸壁上に仮定した横線および縦線の座標とし、ついで、この位置より基準線への仰角を度数で直

接示すことにより陥凹の状態を示した。この方法で、陥凹状態を満足すべき条件で客観的に数値化し、漏斗胸の病型分類をも新しく試みた。

漏斗胸の病型分類は、Sanger *et al.*⁶⁾、Robicsek *et al.*⁷⁾により横断面についてのみなされている。すなわち、対称性、非対称性を基本とした分類が行われてきた。著者は、モアレという精度の高い客観性のある生体計測法を用いて、横断面のみならず縦断面も加味した分類を試みた。横断面では対称性をI型、非対称性をさらに左胸郭が高く最陥凹点が右にあるII型、右胸郭が高く最陥凹点が左にあるIII型に分類した。縦断面では、陥凹のみられないA型、陥凹軽度のB型、陥凹強度のC型とした。横断面での分類は、従来の方法とはモアレを用いたこと以外に差異はないが、縦断面については未だ報告がない。

対象となった30症例中、横断面では対称型(I型)14例、非対称型(II、III型)16例ではほぼ同数であった。諸家の報告では対称型が多いとされているが、モアレによる立体計測により、従来対称型と判定されていた症例の中にも、精密に計測すれば非対称型に属する症例が多く存在することが明らかとなった。最陥凹点の位置と仰角度の結果から、II型では最陥凹点が多くは右側にあり、このため仰角度の左右差がわずかであっても、D線、S線までみると明らかに左右差がある変形であることがわかった。III型では最陥凹点がわずかに左側にあるのみで、左右の仰角度が大きくなっていることが判明した。これは左胸郭には心臓が位置するためと思われ、このためIII型は最陥凹点の位置よりもむしろ仰角の差となって表現される症例と考えられた。

縦断面からの分類では、陥凹軽度のB型12例、強度なC型15例とほぼ同数であったが、一方、臨床的に漏斗胸と診断され、横断面では陥凹が認められるが、縦断面からみると陥凹のみられない症例が3症例(10%)あったことは注目に値する。A型と判定した典型的なモアレ像をFig. 8に示す。これは4歳男児のI A型と分類した症例で、一見陥凹しており、Robicsekらの提唱するbilateral costal prominenceという病態に類似している。これを漏斗胸とするには問題があり、現時点では手術適応とはならない。しかしながら著者は、漏斗胸の発達過程で、A型→B型→C型と互に移行しうると考え、A型の漏斗胸とした。

次に漏斗胸の術前後の客観的評価を行うために、モアレを利用したindexを考察し、検討を行った。このindexは、胸壁の厚みと左右の胸壁幅の二つの数値から算定する。胸壁の厚みは、呼吸運動により上下運動が

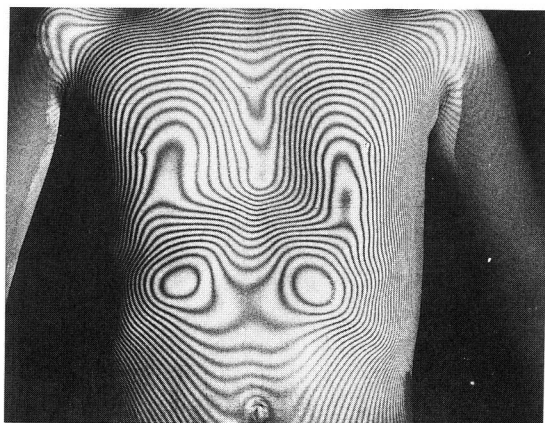


Fig. 8 A moiré topograph in a 4-years-old boy classifies as IA type.

少ないと思われる胸骨上窩を基準点として、前胸壁の任意の高さを計測した。一方、左右胸壁の幅はモアレ撮影時に同時に計測しておき、胸壁の厚さ/幅という概念で、実際には moiré 縞数/左右胸壁幅（単位は本/cm）で moiré index を設定した。胸壁の厚みを基準点からのモアレ縞数で示したのは、実際の厚さを得るには前述したように縞数に 0.15 cm を乗ずることにより得られるが、数値として複雑になるためモアレ縞数を、本を単位として用いた。この index を Fig. 3 に示した各計測点について算出することにより、術前後の評価判定を行なった。

漏斗胸術前群と正常群を比較した結果から危険率 1% 以下で各計測点で有意の差がみられた。このうち上部胸壁においては、正常に比しかなりの差をもって胸壁が薄く扁平であることが判明した。このことは、漏斗胸が胸壁全体の扁平化すなわち發育不全の状態にあることを示唆し、門田ら²²⁾の報告と一致した。この漏斗胸症例に対し、胸骨翻転術を施行した群と正常群とを比較すると、下部胸壁は統計学的有意の差をもってほぼ矯正されたが、中部および上部胸壁はいまだ正常にまで矯正されていないことが判明した。この原因が、胸骨翻転術という手術術式そのものによるのかを検討すべく術前後を比較した。その結果、矯正効果は中部および下部胸壁に限局し、上部胸壁には及んでいないことが判明した。この moiré index による立体計測法は、今回漏斗胸症例にのみ行ったが、鳩胸や扁平胸など種々の前胸壁変形疾患にも十分応用できると考えられる。

漏斗胸の手術術式については、1911 年 Meyer 以来、種々考案され、また改良されてきており、現在では数多くの術式がみられる²³⁾。大別すると、和田ら²⁴⁾によ

り行われた胸骨翻転術、Ravitch²⁵⁾に代表される胸骨挙上法、さらに美容的な改善のみを目的としたプロテーゼ挿入術²⁶⁾の 3 つになる。これらの術式には、それぞれ一長一短があり、従来陥凹部のみの矯正ということで手術がなされた傾向にある。本研究で得られた漏斗胸症例での胸部の發育不全、扁平化という事実を考慮すれば、胸壁全体の形成という視野に立ち外科治療していく必要がある。この点から、現在当教室で行っている胸骨翻転術も、特に上部胸壁の矯正効果をより高めるために、さらに改良を加える必要があると考える。

6 結 論

Moiré topography は非観血的検査法で、装置自体も単純で再現性に富む優れた立体計測法である。このモアレを今回漏斗胸症例に対し応用し、新しい病型分類と moiré index なる指標を設定して術前後の評価判定を行い、次の結論をえた。

1. 作製したモアレ装置は、精度が高く十分臨床応用できることを確認した。

2. 漏斗胸の病型分類をモアレにより行い、新しい分類法を提案した。すなわち、対称性を重視して横断面から I, II, III の 3 型に、陥凹の程度により縦断面から A, B, C の 3 型に分類した。この際漏斗胸の陥凹状態の客観的表現のために、最陥凹点の位置を座標で示し、陥凹度を基準線への仰角度で表した。

3. 対称型 (I 型) と非対称型 (II, III 型) の比率は 14 : 16 となり、ほぼ同数であった。縦断面から陥凹のない A 型と陥凹のある B, C 型の比率は 3 : 27 となった。

4. 前胸壁の厚みの定数化のため、モアレにより胸壁の厚さを測定し、この厚みと胸郭の幅との比を設定し、これを moiré index とした。

5. この指標により胸骨翻転術は下部および中部前胸壁には矯正効果を認めたが、上部前胸壁には十分な効果が得られていないことが判明した。しかしながら、これは術前から存在する陥凹に加え、胸壁全体の扁平化に起因すると思われる、さらに術式の改良が必要と考えられる。

稿を終えるにあたり終始、御指導、御校閲をいただいた恩師小松作蔵教授に深甚なる謝意を表すとともに、本研究について直接御指導いただいた草島勝之講師をはじめ、御協力いただいた教職員各位に深謝する。

なお本論文の一部および要旨は、第 30 回日本胸部外科学会総会で発表した。

文 献

1. 浅井康文, 樗野隆二, 池田晃二, 和田寿郎: 漏斗胸外科 15 年の知見 (その 1). **臨床外科** 28, 1741-1746 (1973).
2. 富田正雄, 酒井 敦, 窪田美佐雄, 柴田紘一郎, 足立晃, 綾部公懿, 白石満州男, 武富勝郎, 矢島 健, 釘宮敏定, 調 亟治, 辻 泰邦, 古賀保範, 中山 巖: 漏斗胸に対する手術療法. **日本胸部臨床** 33, 407-412 (1974).
3. Bay, V., Farthmann, E. and Naegele, U.: Unoperated funnel chest in the middle and advanced age: Evaluation of indications for operation. **J. Ped. Surg.** 5, 606-609 (1970).
4. Guller, B. and Hable, K.: Cardiac findings in pectus excavatum in children: Review and differential diagnosis. **Chest** 66, 165-171 (1974).
5. Takasaki, H.: Moiré topography. **Applied Optics** 9, 1957-1472 (1974).
6. Sanger, P. W., Taylor, F. H. and Robicsek, F.: Deformities of the anterior wall of the chest. **Surg. Gynecol. Obstet.** 116, 515-522 (1963).
7. Robicsek, F., Daugherty, H. K., Mullen, D. C., Harbold, N. B. Jr., Hall, D. G., Jackson, R. D., Masters, T. N. and Sanger, P. W.: Technical considerations in the surgical management of pectus excavatum and carinatum. **Ann. Thorac. Surg.** 18, 549-564 (1974).
8. 鈴木正根, 鈴木喜義: モアレトポグラフィー. **高精度** 3, 25-32 (1972).
9. 高崎 宏: モアレトポグラフィー. **計測と制御** 12, 390-399 (1973).
10. 寺田春水: モアレ縞等高線投影装置. **北里医学** 3, 210-220 (1973).
11. 西坂 剛, 村上 正, 若杉文吉: 等高線モアレ縞による生体の立体計測法. **通信医学** 26, 89-97 (1974).
12. 藤堂景茂, 稲尾雅代, 兼古 悟, 宇野弘昌, 阿部博幸, 和田寿郎: モアレトポグラフィーの臨床応用第Ⅲ報. **日外会誌** 79, 345-347 (1975).
13. Wada, J., Matsufuji, K., Miyamoto, K. and Tsuchida, M.: Surgical correction of the funnel chest. **札幌医誌** 16, 405-410 (1959).
14. Wada, J., Ikeda, K., Ishida, T. and Hasegawa, T.: Results of 271 funnel chest operations. **Ann. Thorac. Surg.** 10, 526-532 (1970).
15. 草島勝之, 伊黒 隆, 稲岡正巳, 浅井康文, 長谷川正, 小松作蔵: 漏斗胸に対する胸骨翻転術と 2, 3 の工夫. **日小外会誌** 18, 161-164 (1982).
16. 竹田晴男, 横山正義, 和田寿郎: 心疾患を合併した漏斗胸に対する 1 期的外科治療. **手術** 36, 987-994 (1982).
17. 松藤和彦: 漏斗胸に対する研究 (第 2 報). **日胸外会誌** 9, 993-1007 (1961).
18. 渡辺洋宇, 市橋 匠, 小林弘明, 岩 喬: 漏斗胸変形度の客観的評価法について—手術症例における検討—. **日胸外会誌** 30, 1705-1711 (1982).
19. Backer, O. G., Brünner, S. and Larsen, V.: The surgical treatment of funnel chest. Initial and follow-up results. **Acta Chir. Scand.** 121, 253-261 (1961).
20. 井上権治, 原田邦彦, 越智友成, 岩朝 昭, 倉山幸治: 漏斗胸の外科療法. **臨床と研究** 53, 425-431 (1976).
21. Dorgeskov, S. and Raahave, D.: Long-term result after operative correction of funnel chest. **Thorax** 26, 74-76 (1971).
22. 門田康正, 谷木利勝, 宇山 正, 中原数也, 藤本祐三郎: 漏斗胸の形態学的分析と術後評価. **日胸外会誌** 34, 1121-1125 (1986).
23. Ravitch, M. M.: Congenital deformities of the chest wall and their operative correction. Saunders, Philadelphia (1977).
24. Wada, J., Ikeda, T. and Iwa, T., Ikeda, K.: Sternotomy. An advanced new surgical method to correct funnel chest deformity. **J. Int. Coll. Surg.** 44, 69-76 (1965).
25. Ravitch, M. M.: Technical problems in operative correction of pectus excavatum. **Ann. Surg.** 162, 29-33 (1966).
26. Stanford, W., Bowers, D. G., Lindberg, E. F., Armstrong, R. G., Finger, E. R. and Dibbell, D. G.: Silastic implants for correction of pectus excavatum. A new technique. **Ann. Thorac. Surg.** 13, 529-536 (1972).

別刷請求先:

(〒060) 札幌市中央区南 1 条西 16 丁目

札幌医科大学外科学第 2 講座 竹田晴男